

Niveles de urea y agua sobre la composición bromatológica del heno de avena (*Avena sativa* L)

LEVELS OF UREA AND WATER ON THE BROMATOLOGICAL COMPOSITION OF OAT (*AVENA SATIVA* L) HAY

Marcelino Mina E.¹, Fredy Ramos P.¹, Alfonso Cordero F.¹, José Contreras P.^{1,2}, James Curasma C.¹, Miguel Tunque Q.¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la composición bromatológica de la amonificación del heno de avena sometido a cuatro niveles de urea y tres de agua. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones en esquema factorial de 4x3. Se evaluaron los niveles de urea (2, 4, 6%, en base a materia seca) y de agua (20, 30, 40%) adicionada. La avena tratada fue almacenada en microsilos de tubos de PVC de 10x60 cm durante 60 días. A la apertura de los silos se colectaron muestras para determinar MS, PC, materia mineral (MM), FDN y FDA, y por diferencia entre estos últimos se determinó la hemicelulosa. La MS disminuyó linealmente al utilizar los niveles de agua con 2, 4 y 6% de urea. El contenido medio de PC aumentó de forma cúbica con la adición de urea (14.52%) con relación al ensilado libre de urea (6.70%) y disminuyó con los niveles de agua (11.89 vs. 9.92%). No hubo efecto de los niveles de urea ni del agua en los contenidos de FDN y FDA. La FDN de la avena amonificada con los niveles de urea en combinación con 20% de agua presentaron efecto lineal negativo (58.01 a 47.86% de FDN). Este mismo comportamiento fue observado para la hemicelulosa (19.10 a 14.74%). La MM fue influenciada de forma cuadrática por los niveles de urea, estimándose valor máximo de 8.13% para el nivel de 5.11% de urea. La amonificación con urea alteró la composición bromatológica del heno de avena mejorando su valor nutritivo.

Palabras clave: amonificación; heno; avena; urea

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the bromatological composition of the amonification of oat hay subjected to four levels of urea and three of water. A completely randomized design was used with four repetitions in a 4x3 factorial scheme. The levels of

¹ Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

² E-mail: joselcpunh123@hotmail.com

Recibido: 5 de septiembre de 2017

Aceptado para publicación: 30 de abril de 2018

urea (2, 4, 6%, based on dry matter) and water (20, 30, 40%) added were evaluated. The processed oats were stored in PVC microsilos of 10x60 cm for 60 days. At the opening of the silos, samples were collected to determine DM, CP, mineral matter (MM), NDF and ADF, plus hemicellulose by the difference between the latter components. The DM decreased linearly when using the water levels with 2, 4 and 6% urea. The average CP content increased cubically with the addition of urea (14.52%) in relation to urea-free silage (6.70%) and decreased with water levels (11.89 vs. 9.92%). There was no effect of the urea or water levels on the contents of NDF and ADF. The NDF of the ammonified oats with the levels of urea in combination with 20% of water showed a negative linear effect (58.01 to 47.86% of NDF). This same behavior was observed for hemicellulose (19.10 to 14.74%). The MM was quadratically influenced by the urea levels, estimating a maximum value of 8.13% for the 5.11% level of urea. The ammonification with urea altered the bromatological composition of the oats hay improving its nutritional value.

Key words: ammonification; hay; oats; urea

INTRODUCCIÓN

En la época de estiaje en los Andes peruanos escasean los forrajes de buena calidad, ocasionando pérdida de peso en el ganado y la falta de vegetación proteica. Por este motivo, los ganaderos recurren a la utilización de alimentos henificados como el heno de avena como complemento para ovinos, bovinos, alpacas y vicuñas. Entre las gramíneas anuales, la avena (*Avena sativa* L), tradicionalmente utilizada para corte, ha sido destacada como especie forrajera para ensilaje y henificación (Cordero *et al.*, 2013).

Los forrajes son productos de origen vegetal, alimentos voluminosos o groseros que tienen bajo peso por unidad de volumen (Church *et al.*, 2002). Son de gran variabilidad físico-química, poseen más del 18% de fibra cruda (FC), cantidades apreciables de lignina (que se encuentra estrechamente asociada a los carbohidratos de la pared celular con los que forman complejos ligno-hemicelulósicos que dificultan la acción enzimática), celulosa, hemicelulosa, pectina, sílice y otros componentes en cantidades menores (Parsi *et al.*, 2001).

La amonificación con urea es una técnica química que le permite al ganadero hacer un mejor uso de los residuos de cosecha al incrementar su valor nutricional. El tratamiento de materiales fibrosos empleando urea como fuente de amoníaco, comúnmente denominado amonificación, es una técnica económica y de fácil implantación en las zonas productoras de cereales, diseñada para mejorar la calidad de recursos con elevado contenido de fracciones refractarias en su pared celular (Briceño y Ojeda, 2011). Además, el tratamiento con amoníaco anhidro y urea mejora el valor nutritivo por el enriquecimiento con nitrógeno no proteico (Missio, 2016), en tanto que incrementa los niveles de proteína debido a la adición de nitrógeno proveniente de la urea (Sánchez *et al.*, 2015). En tal sentido, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar los niveles de urea y agua sobre la composición bromatológica del heno de avena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Estudio

Los tratamientos con urea y agua de las muestras de heno de avena, así como los aná-

lisis químico-bromatológicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos (LUNEA) de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), Perú, entre diciembre de 2014 y octubre de 2015. Las muestras en estudio fueron sembradas y cosechadas dentro de las instalaciones de la UNH.

Heno de Avena

Se utilizó la variedad Mantaro 15 (600 kg) en estado de grano lechoso (tiempo de cosecha: 135 días). El forraje se secó en tarimas de un piso dentro de un invernadero durante 15 días, removiéndose dos veces al día para facilitar el secamiento. En este proceso se controló que el forraje llegue a un contenido de materia seca de 80-85% y humedad de 15-20%, obteniendo 210 kg de heno de avena.

El heno de avena se pasó a través de una picadora mecánica, obteniendo fragmentos de 2-3 cm. El heno fue distribuido en porciones de 2 kg para el acondicionamiento de los tratamientos. Los grupos de heno fueron pulverizados con agua en niveles de 20, 30 y 40% y urea en niveles de 0, 2, 4 y 6%; asimismo, se adicionó 0.75% de sulfato de potasio (K_2SO_4) equitativo en todos los tratamientos.

El tratamiento de cada grupo de heno se hizo con relación a su peso seco. El heno de avena (2 kg) fue almacenado en microsilos de tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 10 cm (diámetro) x 60 cm (altura) durante 60 días.

Variables

Se utilizó los procedimientos recomendado por AOAC (1990) para determinar materia seca (MS), materia mineral (MM), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC) y Van Soest (1994) para determinar fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). Además, se determinaron los

compuestos químicos de hemicelulosa (Hemicelulosa HC = FDN - FDA) y la proporción de hemicelulosa ($Hemi/FDN = Hemi/FDN \times 100$).

Diseño Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones, conducido en un arreglo factorial de 4x3, de acuerdo al siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + A_i + U_j + (AU)_{ij} + e_{ijk}$; donde Y_{ijk} = se refiere a la variable respuesta (MS, PC, EE, MM, FDN, FDA, Hemi y Hemi-FDN, expresados en porcentaje), μ = media general, A_i = efecto del ensilado de heno de avena ($i=1, 2, 3, 4$), U_j = efecto de los niveles de urea - sulfato de potasio y agua ($j=1, 2, 3$), $(AU)_{ij}$ = efecto de la interacción entre los factores de niveles de agua y niveles de urea - sulfato de potasio, y e_{ijk} = error experimental.

El nivel de significancia estadística de las medias de las variables fue considerado como $p < 0.05$. Las medias de las variables fueron contrastadas por la prueba de regresión múltiple al 1 y 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resúmenes del análisis de varianza del efecto del agua, de la urea y de la interacción de estos factores sobre las variables en estudio. Se puede observar las significancias estadísticas de las regresiones de la urea dentro de los niveles de agua y, de este, dentro de los niveles de urea.

Tenor de Materia Seca

En el Cuadro 1 se observa el efecto significativo ($p < 0.01$) del agua en el contenido de MS del ensilado de heno de avena, habiendo una disminución de la MS con el aumento de agua adicionada (Cuadro 3). Los tratamientos que recibieron 40% de agua presentaron tenores medios menores de MS

Cuadro 1. Análisis de varianza de los tenores de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) del ensilado de heno de avena

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios			
		MS (%)	PC (% MS)	FDN (% MS)	FDA (% MS)
Agua (A)	2	242.23828***	19.61130***	47.99210	8.82876
Urea (U)	3	3.86579	124.70196***	19.48875	5.79781
Interacción (A x U)	6	25.146575	3.38400	39.22000	21.34940
(Tratamientos)	(11)				
Error	36				
Total	47				
CV (%)		7.02	11.62	9.66	11.26

*** p<0.001

Cuadro 2. Análisis de varianza de la hemicelulosa (Hemi), de la Hemi-FDN y materia mineral (MM) del ensilado de heno de avena

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios		
		Hemi (% MS)	Hemi-FDN (% MS)	MM (%MS)
Agua (A)	2	20.85465**	24.9105**	1.32667***
Urea (U)	3	9.13373*	12.637735*	7.0964***
Interacción (A x U)	6	3.52046	1.319122	0.43278*
(Tratamientos)	(11)			
Error	36			
Total	47			
CV (%)		10.04	6.76	4.82

Cuadro 3. Tenores medios de materia seca (MS) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea (%)	Niveles de agua (%)			Medias de urea
	20	30	40	
0	63.49 ± 12.68	65.10 ± 2.04	62.41 ± 7.29	63.67 ^a
2	69.53 ± 2.65	64.29 ± 1.28	58.90 ± 1.88	64.24 ^a
4	70.56 ± 2.20	64.38 ± 1.61	59.90 ± 0.90	64.83 ^a
6	69.72 ± 1.74	63.59 ± 1.41	61.31 ± 1.27	64.87 ^a
Medias de agua	68.32 ^a	64.34 ^b	60.55 ^c	

$$Y = 76.0775 - 0.3890^{***} A \quad (R^2 = 0.350072)$$

^{a,b,c} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes (p<0.05)

(60.55%) con relación a los tratamientos adicionados con 20% (68.32%) y 30% (64.34%) de agua. El análisis de varianza de la regresión verificó el efecto lineal negativo de los niveles de agua sobre el contenido de MS (Cuadro 3). Por tanto, en el intervalo de agua estudiado se espera una disminución de 0.3890% de MS en el ensilado de heno de avena por cada unidad porcentual de aumento en el nivel de agua utilizado. Comportamiento similar fue obtenido por Fadel *et al.* (2003), quienes al momento del ensilaje incorporaron niveles de 20, 30 y 40% de agua a la paja de arroz, observando 87.42, 85.53 y 82.19% de MS, respectivamente. En este experimento, al igual que en el heno de *Brachiaria brizantha* CV Marandu, Beneval *et al.* (2000) no consiguieron obtener la reconstitución de la humedad de 20, 30 y 40%, fenómeno similar al ocurrido en el presente estudio.

El análisis de varianza reveló la inexistencia de la interacción del agua con la urea ($p=0.3146$); sin embargo, al utilizar 20, 30 y 40% de agua con los niveles de 2, 4 y 6% de urea se verificaron respuestas lineales negativas (Cuadro 5), con la consecuente reducción en los contenidos de MS de 69.53 a 58.90%, 70.56 a 59.90% y de 69.72% a 61.31%, respectivamente (Cuadro 3). Disminuciones en los contenidos de agua de forrajes amonificados pueden ser explicados por el elevado poder higroscópico de la urea y del amonio, permitiendo que el material absorba agua del ambiente (Duarte *et al.*, 1999).

Tenor de Proteína Cruda

La fuente de variación agua y urea incluida en el modelo estadístico influyeron significativamente ($p<0.01$) en el contenido de PC del ensilado de heno de avena (Cuadro 1). Los datos del Cuadro 6 revelan que la PC disminuyó conforme se incrementan los niveles de agua ($p<0.05$). El ensilado de heno de avena adicionado con 20% de agua fue significativamente superior a los otros tratamientos ($p<0.05$), mientras que estos difirieron

entre sí. El 11.89, 10.02 y 9.92% de PC obtenidos en el presente estudio fueron superiores al valor crítico de 8.5% de PC (Cordero, 1988).

Según el Cuadro 6, los contenidos medios de PC aumentaron con los niveles crecientes de urea ($p<0.05$). Este resultado fue de naturaleza cúbica, evidenciando el efecto benéfico de la adición de la urea al heno de avena en el momento del ensilaje. No existió interacción entre niveles de agua y de urea ($p=0.0633$); sin embargo, el contenido medio de PC se incrementó con las proporciones de urea, observándose efecto cúbico al combinarse con 20% de agua, y efectos lineales con 30 y 40% de agua, respectivamente (Cuadro 4).

El efecto lineal positivo de los niveles de urea sobre el contenido de PC del ensilado de heno de avena y de otros forrajes no significa adicionar altas dosis de urea como fuente de nitrógeno no proteico (NNP), ya que sobrestimaría las necesidades nutricionales de los animales. En el presente estudio, considerando el nivel mínimo de PC para el buen funcionamiento del rumen (7% PC) resultó en 0.76 y 0.39% de urea, con base a la materia seca, habiéndose estimado a partir de las ecuaciones de regresión lineal $Y = 5.98125 + 1.349375***U$ y $Y = 7.37425 + 0.955875**U$ para 30 y 40% de agua, respectivamente (Cuadro 4).

En conclusión, la elevación de los contenidos de PC de los forrajes, especialmente de aquellos de bajo valor nutritivo, se atribuye al aumento del nitrógeno total de los productos usados (urea, NH_3). Así mismo, el contenido de PC del ensilado de heno de avena decreció (11.89, 10.02 y 9.92) con el aumento de los niveles de agua adicionada. En los tratamientos en la que se utilizaron 20, 30 y 40% de agua con 4 y 6% de urea se observaron efectos lineales negativos (cuadros 5 y 6). Esta influencia es comparable a lo descrito por Beneval *et al.* (2000) y Fadel *et al.* (2003).

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación de las variables en estudio del ensilado de heno de avena amonificado con 0, 2, 4 y 6 de urea en combinación con los niveles de 20, 30 y 40 % de agua

Variabes	Ecuación de regresión Valor de Y	R ²
Agua 20%		
Materia seca (MS)	63.49	-
Proteína cruda (PC)	$7.08 + 4.9125^{**}U - 1.635315^{*}U^2 + 0.18015625^{*}U^3$	0.8554485
Fibra detergente neutro (FDN)	$56.1865 - 1.521125^{*}U$	0.2696760
Fibra detergente ácido (FDA)	35.23	-
Hemicelulosa (Hemi)	$18.31025 - 0.638625^{*}U$	0.3344940
Hemi – FDN	31.72	-
Materia mineral (MM)	$6.24212 + 1.0229^{***}U - 0.1267^{***}U^2$	0.766311
Agua 30%		
Materia seca (MS)	65.04	-
Proteína cruda (PC)	$5.98125 + 1.349375^{***}U$	0.955534
Fibra detergente neutro (FDN)	50.39	-
Fibra detergente ácido (FDA)	35.43	-
Hemicelulosa (Hemi)	14.95	-
Hemi – FDN	29.84	-
Materia mineral (MM)	$7.0925 + 0.229375^{***}U$	0.7482331
Agua 40%		
Materia seca (MS)	61.87	-
Proteína cruda (PC)	$7.37425 + 0.955875^{**}U$	0.6115631
Fibra detergente neutro (FDN)	48.20	-
Fibra detergente ácido (FDA)	34.05	-
Hemicelulosa (Hemi)	14.14	-
Hemi – FDN	$30.268 - 0.302875^{*}U$	0.2920
Materia mineral (MM)	$6.1625 - 0.09791U + 0.26781^{*}U^2 - 0.033489^{*}U^3$	0.9135385

Tenor de Fibra Detergente Neutro

En el Cuadro 1 se observa que tanto el agua como la urea no influyeron significativamente en la FDN del ensilado de heno de avena ($p = 0.1437$, $p = 0.4852$, respectivamente). Tampoco se observó interacción entre los niveles de urea y agua adicionados ($p = 0.1558$). Los ensilados de heno de avena que fueron adicionados con los niveles de 20, 30 y 40% de agua presen-

taron tendencia en la disminución de los valores de FDN, cuyas medias variaron entre 51.62 y 48.20%. Esta forma de comportamiento fue también observada con los niveles de urea, con medias que oscilaron entre 51.93 y 49.80% de FDN (Cuadro 7).

Los tratamientos constituidos de 0, 2, 4 y 6% de urea con 20% de humedad propiciaron respuesta benéfica de la adición de urea sobre los contenidos de FDN, determinando

efecto tipo lineal negativo (Cuadro 4); es decir, el aumento de las proporciones de urea adicionados implicó disminución de los contenidos de FDN. Los reportes de Duarte *et al.* (1999), Beneval *et al.* (2000) y Fadel *et al.* (2003) coinciden con la reducción de la FDN obtenida en el presente estudio. Es importante resaltar que los forrajes no responden de forma uniforme al proceso de amonificación. Generalmente aquellos forrajes de baja calidad inicial presentan una mejor respuesta a la amonización (Beneval *et al.*, 2000). Según la literatura, el efecto de la reducción de la FDN de los forrajes por la urea se debe principalmente a la solubilización de la hemicelulosa (Klofenstein, 1978).

Tenor de Fibra Detergente Ácido

El agua, la urea o la interacción entre estos factores no influyeron significativamente en los contenidos medios de la fibra detergente ácida (FDA) del heno de avena tratada (Cuadro 1).

La utilización de los niveles de agua con 0, 2 y 4% de urea propiciaron tendencia en la disminución de los valores de FDA, más no así en el caso del 6% de urea, verificándose una tendencia de respuesta tipo cuadrática. Los tratamientos constituidos de 0, 2, 4 y 6% de urea con 20% de humedad mostraron tendencia lineal negativa ($v = 37.873 - 0.8816U$) en los contenidos de FDA.

En la literatura se encuentra una gran variabilidad referente al contenido de FDA, celulosa y de lignina en las diferentes especies forrajeras, como resultado de la amonización con urea o NH_3 . Beneval *et al.* (2000) y Fadel *et al.* (2003) observaron una interacción significativa entre las proporciones de urea y agua para la FDA en el heno de *Brachiaria brizantha* y paja de arroz, respectivamente, cuando fueron amonizadas con urea. Las proporciones de 4 y 6% con 40% de agua en el heno de *Brachiaria brizantha* permitieron mayor reducción de los contenidos de FDA. En la paja de arroz,

la adición de 6% de urea con 20 y 30% de agua permitieron las mayores reducciones de FDA (Fadel *et al.*, 2003).

Tenor de Hemicelulosa

En el resumen del análisis de varianza se observó que hubo efecto significativo del agua y de la urea en los contenidos de hemicelulosa (Hemi) del heno de avena amonizada, pero no hubo interacción significativa entre estos factores (Cuadro 2).

Los tratamientos del ensilado de heno de avena con 20% de agua fueron significativamente diferentes de los adicionados con 30 y 40% de agua ($p < 0.05$), que no difirieron entre sí (14.95% vs. 14.13%). Mediante el análisis de varianza de la regresión se verificó respuesta lineal negativa para los contenidos de hemicelulosa al ser amonificados con los niveles de urea (Cuadro 9), existiendo una disminución de 0.2853% de hemicelulosa por unidad porcentual de urea adicionada al heno de avena en el momento del ensilaje.

Pese a que no hubo interacción significativa entre las proporciones de urea y de agua adicionados con relación a los contenidos de hemicelulosa ($p = 0.1998$), se verificó un efecto lineal negativo (cuadros 4 y 9) al utilizar los niveles de urea en combinación con 20% de agua ($p < 0.05$); es decir, el aumento de las proporciones de urea implicó una reducción de los contenidos de hemicelulosa. Esta misma forma de respuesta significativa se observó al utilizar las tres proporciones de agua en combinación con los niveles de 0, 2 y 6% de urea, cuyos coeficientes de regresión fueron de -0.2051, -0.094 y -0.051, respectivamente (Cuadro 5).

En el presente caso, los resultados son parcialmente satisfactorios en virtud posiblemente a la baja hidrólisis de la urea, al usar 2 y 6%, pues al comparar con los ensilados libre de urea, estos niveles presentaron menores tasas de disminución de hemicelulosa. Fadel *et al.* (2003) no encontraron diferen-

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación de la variable urea en estudio del ensilado de heno de avena tratado con 20, 30 y 40% agua en combinación de 0, 2, 4 y 6% de urea

Variablen	Ecuación de regresión Valor de Y	R ²
Urea 0%		
Materia seca (MS)	57.17	-
Proteína cruda (PC)	6.70	-
Fibra detergente neutro (FDN)	51.93	-
Fibra detergente ácido (FDA)	35.55	-
Hemicelulosa (Hemi)	22.52625 - 0.205125*A	0.355784
Hemi – FDN	31.49	-
Materia mineral (MN)	0.1975 + 0.450625**A - 0.00753**A ²	0.610032
Urea 2%		
Materia seca (MS)	80.18166667 - 0.53125***A	0.8597
Proteína cruda (PC)	33.85 -1.599*A + 0.0248**A ²	0.49629
Fibra detergente neutro (FDN)	49.10	-
Fibra detergente ácido (FDA)	34.32	-
Hemicelulosa (Hemi)	17.62541667- 0.094875*A	0.4363326
Hemi – FDN	33.15041 - 0.102375*A	0.4295984
Materia mineral (MM)	5.845 + 0.1846A - 0.00403*A ²	0.8095810
Urea 4%		
Materia seca (MS)	81.34833333 - 0.5505***A	0.9027309
Proteína cruda (PC)	14.03833333 - 0.0955*A	0.3507305
Fibra detergente neutro (FDN)	49.44	-
Fibra detergente ácido (FDA)	34.27	-
Hemicelulosa (Hemi)	15.16	-
Hemi – FDN	30.61	-
Materia mineral (MM)	8.06	-
Urea 6%		
Materia seca (MS)	77.48833333 - 0.4205***A	0.908516
Proteína cruda (PC)	20.18 - 0.1885**A	0.763016
Fibra detergente neutro (FDN)	49.80	-
Fibra detergente ácido (FDA)	35.45	-
Hemicelulosa (Hemi)	15.8725 - 0.051*A	0.346706
Hemi – FDN	29.03	-
Materia mineral (MM)	8.06	-

Cuadro 6. Tenores medios de proteína cruda (PC) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea ¹
	20	30	40	
0	7.08 ± 1.35	5.98 ± 0.27	7.05 ± 0.17	6.70 ^c
2	11.80 ± 2.24	8.74 ± 0.40	9.64 ± 1.63	10.06 ^b
4	12.09 ± 1.77	11.24 ± 0.61	10.19 ± 0.99	11.17 ^b
6	16.59 ± 0.47	14.15 ± 0.27	12.82 ± 0.90	14.52 ^a
Medias de agua	11.89 ^a	10.02 ^b	9.92 ^b	

¹ $Y = 6.707500000 + 2.985416667^{**}U - 0.840416667^{*}U^2 + 0.093333333^{*}U^3$ ($R^2 = 0.765846$).

^{a,b} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Cuadro 7. Tenores medios de fibra detergente neutra (FDN) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea
	20	30	40	
0	58.01 ± 0.94	48.62 ± 1.19	49.17 ± 1.43	51.93 ^a
2	50.30 ± 2.20	49.56 ± 0.66	47.46 ± 4.55	49.10 ^a
4	50.32 ± 1.62	49.90 ± 2.98	48.09 ± 1.76	49.44 ^a
6	47.86 ± 0.84	53.47 ± 9.65	48.08 ± 0.61	49.80 ^a
Medias de agua	51.62 ^a	50.39 ^a	48.20 ^a	

^{a,b} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Cuadro 8. Tenores medios de fibra detergente ácido (FDA) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea
	20	30	40	
0	38.90 ± 0.57	33.60 ± 1.10	34.15 ± 1.43	35.55 ^a
2	34.58 ± 0.99	34.75 ± 1.05	33.64 ± 3.47	34.33 ^a
4	34.31 ± 1.59	34.44 ± 0.46	34.07 ± 1.75	34.27 ^a
6	33.11 ± 1.00	38.91 ± 9.34	34.34 ± 0.60	35.45 ^a
Medias de agua	35.23 ^a	35.43 ^a	34.05 ^a	

Medias con superíndices similares en una misma fila o columna no difieren estadísticamente entre sí

Cuadro 9. Tenores medios de la hemicelulosa (Hemi) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea ²
	20	30	40	
0	19.10 ± 4.04	15.01 ± 0.29	15.00 ± 0.43	16.37 ^A
2	15.71 ± 1.30	14.80 ± 0.43	13.81 ± 1.09	14.77 ^{AB}
4	16.01 ± 0.22	15.46 ± 2.59	14.01 ± 0.28	15.16 ^{AB}
6	14.74 ± 0.42	14.55 ± 0.54	13.71 ± 0.85	14.34 ^B
Medias de agua ¹	16.39 ^a	14.95 ^b	14.13 ^b	

$$Y = 18.5476 - 0.1127^{**}A \quad (R^2 = 0.2343)$$

$$Y = 16.02016 - 0.2853^{*}U \quad (R^2 = 0.1125)$$

^{a,b} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

cias significativas en los contenidos medios de hemicelulosa de la paja de arroz amonificados con 2 y 6% de urea y proporciones de 20, 30 y 40% de humedad. Hecho similar fueron observados por Beneval *et al.* (2000) en el heno de *Brachiaria brizantha* con diferentes proporciones de agua y urea. El trabajo de Reis *et al.* (1995) mostró la solubilización de la hemicelulosa vía amonificación. En el presente estudio, probablemente los resultados fueron satisfactorios debido a la baja hidrólisis de la urea.

Tenor de Hemicelulosa-FDN

En el Cuadro 2 se observa que el agua ($p = 0.0060$) y la urea ($p = 0.0428$) influyeron significativamente sobre la relación hemicelulosa-FDN (hemi/FDN). Los contenidos de hemi/FDN se redujeron linealmente en función de los niveles de agua (Cuadro 10), con una disminución de 0.1180% de hemi/FDN por cada unidad porcentual de agua adicionada. El efecto de los niveles de urea sobre la relación hemi/FDN fue de forma lineal negativa ($p < 0.05$), conforme la ecuación $Y = 31.32891 - 0.340958^{*}U$.

Los estudios de amonificación de forrajes con urea han registrado disminución en los contenidos de hemicelulosa de la pared celular, hecho que es equivalente el presente estudio con los hallazgos de Beneval *et al.* (1998) y Reis *et al.* (2001b). En los forrajes amonificados con urea ocurre a la reacción del amonio sobre los constituyentes de la pared celular. El amonio puede reaccionar sobre las moléculas de la hemicelulosa, permitiendo el rompimiento de ligaciones y la solubilización parcial de este componente (Gobbi *et al.*, 2005).

No se observó interacción significativa entre los niveles de agua y de urea para la relación hemi/FDN; sin embargo, mediante el análisis de varianza de la regresión se verificó que la combinación de los niveles de 0, 2, 4 y 6 de urea con 40% de agua influyeron de forma lineal negativa ($p < 0.05$) en los contenidos de hemi/FDN (Cuadro 4). Este mismo comportamiento presentaron los niveles de agua en combinación con 2% de urea (Cuadro 5), existiendo una disminución de 0.1023% de hemi/FDN por cada unidad porcentual de agua adicionada al heno de avena en el momento del ensilaje.

Cuadro 10. Tenores medios de hemicelulosa - FDN (hemi/ FDN) del ensilado de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea ²
	20	30	40	
0	33.00 ± 3.69	30.89 ± 0.75	30.57 ± 1.16	31.49 ^A
2	31.20 ± 1.31	29.88 ± 1.23	29.15 ± 0.62	30.07 ^{AB}
4	31.84 ± 1.00	30.83 ± 3.21	29.17 ± 1.14	30.61 ^{AB}
6	30.82 ± 1.11	27.74 ± 3.87	28.54 ± 1.54	29.03 ^B
Medias de agua ¹	31.72 ^a	29.83 ^{ab}	29.35 ^b	

¹ $Y = 33.84697 - 0.11803^*A$ ($R^2 = 0.1805$)

² $Y = 31.32891 - 0.340958^*U$ ($R^2 = 0.1129$)

^{a,b} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Cuadro 11. Tenores medios de materia mineral (MM) del ensilaje de heno de avena, en función a los niveles de urea y de agua

Niveles de urea, %	Niveles de agua, %			Medias de urea ¹
	20	30	40	
0	6.19 ± 0.17	6.93 ± 0.46	6.16 ± 0.28	6.43 ^C
2	7.92 ± 0.31	7.75 ± 0.16	6.77 ± 0.34	7.48 ^B
4	8.16 ± 0.16	8.09 ± 0.22	7.91 ± 0.21	8.06 ^A
6	7.86 ± 0.87	8.34 ± 0.26	7.98 ± 0.23	8.06 ^A
Medias de agua	7.54 ^a	7.78 ^a	7.21 ^b	

¹ $Y = 6.4253 + 0.6649^{***}U - 0.0651^{**}U^2$ ($R^2 = 0.6806$)

^{a,b,c} Medias con superíndices diferentes entre filas o entre columnas son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Tenor de Materia Mineral

En el Cuadro 2 se observa que el agua, la urea y la interacción entre estos factores influyeron significativamente en los contenidos de materia mineral del ensilado de heno de avena, cuyos valores de p fueron 0.0003, 0.0001 y 0.0109, respectivamente. La materia mineral fue influenciada de forma cuadrática por los niveles de urea ($p < 0.01$), estimándose el valor máximo de 8.13% de MM para el nivel de 5.11% de urea, conforme la ecuación de regresión $Y = 6.4253 + 0.6649^{***}U - 0.0651^{**}U^2$ (Cuadro 11).

Este efecto benéfico de la urea en el mayor contenido de minerales en el ensilado de heno de avena difiere del trabajo realizado por Castillo y Padilla (2016), quienes no encontraron influencia en la amonificación de residuos agrícolas con niveles de urea de 0, 2, 4 y 6%, cuya media fue de 2.26% de MM. Al combinarse los niveles de urea con 20% de agua (Cuadro 4), el ensilado presentó 8.41% de MM para el nivel de 4.04% de urea.

Los tratamientos constituidos de los niveles de urea con 30% de agua presentaron respuesta lineal positiva, existiendo un aumen-

to de 0.23% de MM en el ensilado por cada unidad porcentual de urea. La fractura de la pared celular de los vegetales por el amonio proporciona a la microbiota del rumen gran cantidad de sustrato disponible (Saenger *et al.*, 1983), hecho que ocurrió en el presente trabajo, pues la MM (6.93%) del ensilado de heno de avena libre de urea con 30% de agua fue inferior al valor medio de MM (8.34%) de la avena amonificada con 6% de urea. Comportamiento similar sucedió con los ensilados con 0 y 40% de agua (6.16% MM) en relación a los ensilados con 6% de urea y 40% de agua (7.98% MM).

Hubo también efecto lineal, cuadrático y cúbico ($p < 0.01$) en relación a los niveles de urea con 40% de agua. En el Cuadro 5 se observa el efecto de los niveles de agua con 2% de urea en la MM del ensilado con respuesta de tipo cuadrático, estimándose el valor máximo de 7.96% de MM para el nivel de 22.90% de agua, conforme a la ecuación de regresión $y = 5.845 + 0.1846A - 0.00403A^2$ ($r^2 = 81$). En cambio, con los niveles de agua adicionados al heno de avena libre de urea (0%), la cantidad máxima obtenida de MM fue de 0.20% para el nivel de agua de 0.00030%.

CONCLUSIONES

- La adición de agua en los niveles de 20, 30 y 40% en combinación con 2, 4 y 6% de urea disminuyeron los contenidos de materia seca de los ensilados de heno de avena.
- Los niveles de proteína cruda de los ensilados se incrementaron significativamente ($p < 0.01$) al ser amonificados con 2, 4 y 6% de urea con los niveles de 20, 30 y 40% de agua. El mayor contenido de proteína cruda (16.59%) del ensilado de heno de avena se obtuvo al utilizar 6% de urea con 20% de agua.
- El mínimo de adición de urea al heno de avena teniendo en consideración la mejora de su valor nutritivo fue de 0.39% (con base a la materia seca), teniendo en cuenta el nivel mínimo de proteína

cruda para el buen funcionamiento del rumen de los animales.

- El incremento de los niveles de urea con 20% de agua permitieron la disminución de la fibra detergente neutro del material amonificado.
- Los valores de materia mineral en los ensilados adicionados de 20, 30 y 40 de agua y 2% de urea se ajustaron a un modelo cuadrático, estimándose 7.96% de materia mineral con 22.90% de agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen por los fondos económicos aportados por el proyecto FOCAM «Generación y evaluación de un sistema computarizado en la formulación de raciones al mínimo costo en ganado lechero en la provincia de Huaytara, Acobamba, Tayacaja y Huancavelica de la Región Huancavelica».

LITERATURA CITADA

1. **Beneval R, De Souza H, Rodrigues K. 2000.** Composição química de feno de *Brachiaria brizantha* cv Marandu tratado com diferentes proporções de uréia e de água. Cienc Anim Bras 1: 108-113.
2. **Beneval R, Reis RA, Resende KT, Kronka SD, Jobim CC. 1998.** Valor nutritivo do feno de *Brachiaria decumbens* Stapf. cv Basilisk submetido a tratamento com amônia anidra e uréia. Rev Bras Zootec 27: 815-822.
3. **Briceño A, Ojeda A. 2011.** Efecto de diferentes proporciones de recursos fibrosos tratados y sin tratar con urea sobre la producción de gas y degradabilidad *in vitro*. Rev Fac Agron Venezuela 37(1): 11-18.
4. **Cândido MJD, Neiva JNM, Pimentel JCM, Vasconcelos VR, Sampaio EM, Mendes Neto J. 1999.** Avaliação do valor nutritivo de bagaço de cana-de-açúcar amonizado com uréia. Rev Bras Zootec 28: 928-935.

5. **Castillo T, Padilla S. 2016.** Efecto de la amonificación sobre la composición química bromatológica de los residuos de cosecha de cultivos agrícolas. Tesis de Ing. Zootecnista. Huancavelica, Perú: Univ. Nacional de Huancavelica. 95 p.
6. **Church DC, Pond WG, Pond KR. 2002.** Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México DF: Ed Limusa. 636 p.
7. **Cordero FA, Contreras PJ, Mayhua MP, Poma C. 2013.** Efecto de aditivos en el ensilaje de avena (*Avena sativa* L). En: XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba.
8. **Cordero FA. 1988.** Valor nutritivo de concentrados energéticos suplementando volumosos na alimentação de vacas em lactação. Tese de Doutorado. Viçosa, Brasil: Universidade Federal Vicoso. 112 p.
9. **Fadel R, Rosa B, Pereira de Oliveira I, Oliveira J. 2003.** Avaliação de diferentes proporções de água e de uréia sobre a composição bromatológica da palha de arroz. Cienc Anim Bras 4: 101-107.
10. **Gobbi KF, Garcia R, Garcez A, Pereira O, Bernardino F, Rocha F. 2005.** Composição química e digestibilidade *in vitro* do feno de *Brachiaria decumbens* Stapf. tratado con uréia. Rev Bras Zootec 34: 720-725. doi: 10.1590/S1516-35982005000300002
11. **Klofenstein T. 1978.** Chemical treatment of crop residues. J Anim Sci 46: 841-848.
12. **Missio RL. 2016.** Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. Arch Zootec 65: 267-278.
13. **Reis RA, Rodrigues LRA, Resende KT, Pererira J, Riggieri AC. 2001b.** Avaliação de fontes de amônia para o tratamento de fenos de gramíneas tropicais. 1. Constituyentes da pared celular, poder tampão e actividade ureática. Rev Bras Zootec 30: 674-681. doi: 10.1590/S1516-35982001000300010
14. **Reis RA, Rodriguez LRA, Pedroso P. 1995.** Avaliação de fontes de amônia para o tratamento de volumosos de baixa qualidade. Rev Soc Bras Zootec 24: 486-493.
15. **Saenger PF, Lemenager RP, Hendrix KS. 1983.** Effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw upon *in vitro* digestion, performance and intake by beef cattle. J Anim Sci 56: 15-20.
16. **Sánchez A, Ortega C, Mendoza M, Montañez V, Buntinx S. 2012.** Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. Interciencia 37: 395-399.